

# Roberts밸런을 갖는 단축 다이폴 안테나의 안테나 인자

正會員 김 기 채\*

## Antenna Factors of Short Dipole Antennas with Roberts Balun

Ki-Chai Kim\* *Regular Members*

※이 논문은 1995학년도 영남대학교 학술연구조성비에 의한 것임.

### 요 약

방사성의 불요 전자파를 정밀 정확하게 측정하기 위해서는 사용하는 안테나의 정확한 안테나 인자를 알고 있어야 한다. 본 논문에서는 Roberts밸런을 갖는 단축 다이폴 안테나가 접지판 위에 놓여질 경우의 안테나 인자를 계산하고 있으며, 반파장 안테나와 공진 반파장 안테나의 안테나 인자도 비교 검토하고 있다. 안테나 인자의 정식화에 대해서는 안테나 부분은 Maxwell방정식의 경계치 문제로서 Galerkin의 모멘트 법으로 해석하고, 밸런 부분은 전력전송의 부정합 개념을 이용한 회로이론을 적용하고 있다.

### ABSTRACT

Exactly calculated antenna factors are required for determining EMI levels in an actual radiated emission test. In this paper, the antenna factors of short dipole antennas above the ground plane are calculated theoretically for the antenna with Roberts balun specified ANSI C63.5 regulation. Also treated is a half-wavelength dipole antenna with Roberts balun to compare the antenna factors with those of resonant dipole antenna. In formulation of antenna factors the antenna is treated as the boundary value problem of Maxwells equations and is analyzed by the Galerkins method of moments. The balun is treated using circuit theory based on power transmission mismatch.

### I. 서 론

전자정보처리기기 등에서 나오는 불요 전자파를 정밀 정확하게 측정하기 위해서는 측정에 사용하는 EMC 안테나의 정확한 안테나 인자를 알고 있어야 한다. 일반적으로 EMC안테나에는 밸런 및 정합 회로(이하, B/M 회로라 함)가 연결되어 있기 때문에 안테나 인자의 엄밀한 이론적 평가는 어려운 문제로 남겨져 있다. 또한

\*영남대학교 전기전자 공학부  
 論文番號:96376-1127  
 接受日字:1996年 11月 27日

안테나 인자의 측정법도 아직 확립되어 있지는 않지만 이론과 실험 양면에서 검토가 이루어지고 있다[1], [2]. 문헌(3)에서는 문헌(1), (2)에서의 문제점을 해결하고 보다 엄밀한 이론적 평가를 위해 Roberts밸런을 갖는 반파장 공진다이폴 안테나가 접지판 위에 놓여져 있을 때의 안테나 인자를 검토하고 있다.

본 논문에서는 문헌(3)에서 지면 관계로 논의하지 못했던 80 MHz이하에서의 단축 다이폴 안테나에 대한 안테나 인자와 안테나 길이의 부적절한 조정에 따른 안테나 인자의 오차에 대하여 검토하고 있다. ANSI C63.4[4]규격에서는 80 MHz이하의 주파수 대역에 대하여 80 MHz에 공진하는 안테나를 사용하도록 규정하고 있기 때문에 80MHz이하에서는 결과적으로 단축 다이폴이 된다. 또한 반파장 공진 안테나를 반파장 안테나로 잘못 사용하게 되는 경우에는 안테나 인자의 적용에서 오차가 발생하게 된다. 따라서, 본 논문에서는 Roberts밸런이 연결된 다이폴 안테나가 접지판 위에 놓여져 있을 때, (1) 단축 다이폴 안테나에 대한 정확한 안테나 인자를 계산하고 있으며, (2) 반파장 공진 안테나를 반파장 안테나로 잘못 사용하게 되는 경우에 발생할 수 있는 안테나 인자의 적용오차를 추정하기 위해 양자 사이의 안테나 인자 차이를 검토하고 있다.

안테나 인자의 정식화에 대해서는 안테나 부분은 Maxwell방정식의 경계치 문제로서 Galerkin의 모멘트 법으로 해석하고, 밸런 부분은 전력전송의 부정합 개념을 이용한 회로이론을 적용하고 있다.

## II. 안테나 인자

그림 1은 접지판에서 높이가  $h$ 인 위치에 놓여진 반경  $a$ 의 반파장 공진 다이폴 안테나를 나타낸다. 안테나의 단자에는 B/M회로가 접속되어 있고 동축선을 통하여 수신기가 연결되어 있다. 그림 1에서 나타낸 것처럼 안테나는 전계강도 속에 놓여져 있으며 전계에 의해 유기된 전압이 B/M회로를 통하여 수신기에 나타나게 된다. 그림 1에는 수평편파에 대한 안테나의 배치를 나타내고 있으나 수직편파인 경우는 높이  $h$ 의 위치에 다이폴의 중심이 위치하도록 배치한다.

그림 2는 그림 1의 등가회로를 나타낸다. 그림 2에서  $P_a$  및  $P_b$ 는 각각 안테나에서 나오는 유능전력 및

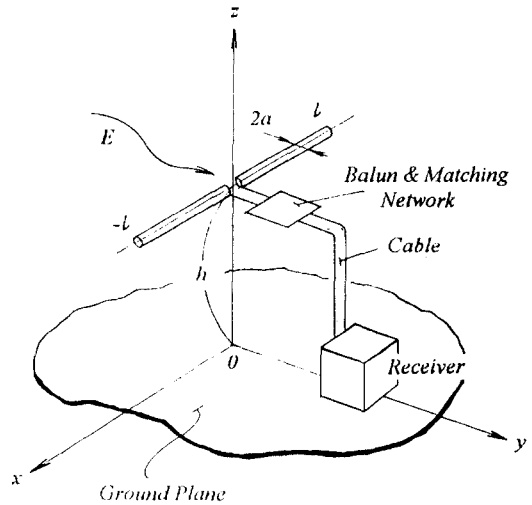


그림 1. 접지판 위에 놓여진 EMC다이폴 안테나.  
Fig. 1 EMC dipole antenna above the ground plane.

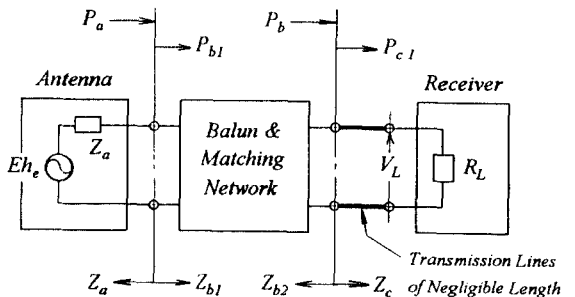


그림 2. 그림 1의 안테나 계의 등가회로.  
Fig. 2 Equivalent circuit of the antenna system as shown in Fig. 1.

밸런에서 나오는 유능전력이며,  $P_{b1}$  및  $P_{c1}$ 은 각각 B/M회로에 전달되는 전력 및 동축회로에 전달되는 전력이다.

안테나의 안테나 인자  $K$ 는 그림 2에서 수신기의 단자에 나타나는 전압  $V_L$ 을 이용하여 다음 식으로 정의된다.

$$K = \frac{E}{V_L} \quad (1)$$

식(1)의 안테나 인자를 이론적으로 계산하기 위해서는 수신기의 단자전압을 구해야 하는데 안테나에 접속된 B/M회로의 형상이 복잡하기 때문에 Maxwell방정식의 경계치 문제로 평가하는 것은 대단히 어렵다. 따라서, 본 논문에서는 안테나 부분만을 경계치 문제로 취급하고 B/M회로의 평가는 전력 전송 손실이 있는 등가 회로로 표현하여 회로론적으로 취급한다.

안테나의 유효길이를 도입한 안테나 인자의 표현식은 문헌(3)에 자세히 기술되어 있으므로 구체적인 설명은 생략하고 결과식만을 적으면 다음과 같다.

$$K = \frac{2}{h_e} \sqrt{\frac{R_a}{R_L}} K_L = K_0 K_L \quad (2)$$

여기서,  $K_0$ 는 이상적인 B/M회로를 사용했을 경우의 안테나 인자이다.  $K_L$ 은 B/M회로를 삽입했을 때 임피던스의 부정합에 기인하는 안테나 인자의 변동분이며 B/M회로가 무손실인 경우에는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$K_L = \sqrt{\frac{|Z_{b1} + Z_a|^2}{4R_a R_{b1}}} \quad (3)$$

여기서,  $Z_a (= R_a + jX_a)$ 는 안테나의 입력 임피던스이고,  $Z_{b1} (= R_{b1} + jX_{b1})$ 는 B/M회로의 입력 단에서 바라본 임피던스이다.

### III. 적분방정식

안테나 인자의 식(2)로부터 안테나 인자를 계산하기 위해서는 안테나의 유효길이 및 입력 임피던스 등을 계산해야 한다. 이들은 모두 안테나에 관련된 양이며 안테나에 흐르는 전류분포를 구하면 계산할 수 있다.

그림 1에 나타낸 안테나계는 영상정리를 이용하면 자유공간에 2개의 안테나가 놓여진 안테나계와 등가가 되며, 안테나에 흐르는 전류 분포에 관한 적분방정식은 다음과 같이 주어진다.

$$\frac{1}{j\omega\epsilon_0} \iint_S [\bar{K}_{11}(\mathbf{r}, \mathbf{r}') \pm \bar{K}_{12}(\mathbf{r}, \mathbf{r}')] \cdot \mathbf{J}(\mathbf{r}') dS' = -V \hat{\xi} \delta(\xi) \quad (4)$$

여기서,

$$\bar{K}_{ij} = (\bar{I} k_0^2 + \nabla \nabla) \cdot \bar{G}_{ij}(\mathbf{r}, \mathbf{r}') \quad (5)$$

$$\bar{G}_{ij} = \bar{I} \frac{e^{-jk_0 R_{ij}(\mathbf{r}, \mathbf{r}')}}{4\pi R_{ij}(\mathbf{r}, \mathbf{r}')} \quad (i, j = 1, 2) \quad (6)$$

위의 식에서  $\bar{I}$ 는 단위 다이아디이며,  $k_0 = \omega \sqrt{\epsilon_0 \mu_0}$ ,  $\epsilon_0$ 는 진공의 유전율이며,  $\mu_0$ 는 진공의 투자율이다. 또한  $\delta(\mathbf{*})$ 는 Dirac의 델타함수이고,  $\hat{\xi}$ 는  $\xi$ 방향의 단위벡터이며,  $\mathbf{r}$  및  $\mathbf{r}'$ 는 각각 관측점 및 파원점의 위치 벡터이다. 그리고  $R_{ij}$ 는  $i$ 안테나와  $j$ 안테나 사이의 거리이며,  $j=2$ 는 영상 안테나를 나타낸다. 식(4)에서 복호 ±는 각각 수평편파(-) 및 수직편파(+)에 해당하며, 수직편파일 때는  $\xi = x$ , 수직 편파인 경우는  $\xi = z$ 이다.

전류분포에 관한 적분방정식(4)의 해를 구하면 안테나 인자의 식에 나타나는 안테나에 관련된 유효길이, 입력저항 등을 계산할 수 있다. 본 논문에서는 적분방정식(4)의 해를 잘 알려져 있는 구분적 정현함수를 기저함수로 사용한 Galerkin의 모멘트 법으로 구했으며, 구체적인 정식화의 과정은 생략하도록 한다.

### IV. 안테나와 밸런의 제원

계산에 사용하는 다이폴 안테나의 제원은 다음과 같다.

안테나의 반경  $a$ : 3.175 mm for 30MHz ≤ f ≤ 300MHz  
: 0.794 mm for 30MHz < f ≤ 1000MHz

안테나의 길이 L: (1) 단축 다이폴의 안테나 인자를 검토하는 경우

: 80MHz에 공진하는 길이로 고정

(2) 안테나 인자의 차이를 검토하는 경우

: 반파장 공진길이 및 반파장 길이

안테나의 공진길이는 다이폴 안테나를 모멘트 법으로 해석하고 안테나가 자유공간 속에 놓여져 있을 경우에 안테나 입력 임피던스의 허수부가 0이 되는 공진 조건식을 풀어서 구했다. 즉, 그림 1에서  $h = \infty$ 인 경우를 생각하고 입력 임피던스의 공진조건을 적용하면 된다.

계산에 이용한 밸런은 ANSI C63.5[4]에서 규정하고 있는 Roberts밸런을 이용하며, 밸런의 구체적인 주파수 대역은 다음과 같다.

주파수 $f$ (MHz)	중심주파수 $f_c$ (MHz)
20 - 65	45
65 - 180	120
180 - 400	290
400 - 1,000	700

이와 같은 Roberts밸런의 입력 임피던스는 다음 식으로 주어진다[4, 5].

$$Z_{bi} = \frac{R_L X_P^2 + j\Delta}{R_L^2 + (X_P + X_C)^2} \quad (7)$$

$$\Delta = R_L^2 X_P + X_P X_C (X_P + X_C) \quad (8)$$

$$X_P = 70 \tan\left(\frac{\pi f}{2f_c}\right) \quad (9)$$

$$X_C = -50 \tan\left(\frac{\pi f}{2f_c}\right) \quad (10)$$

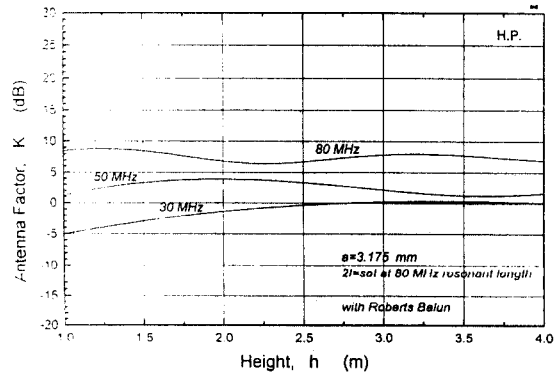
### V. 계산결과 및 검토

#### 1. 80 MHz이하의 단축 다이폴 안테나

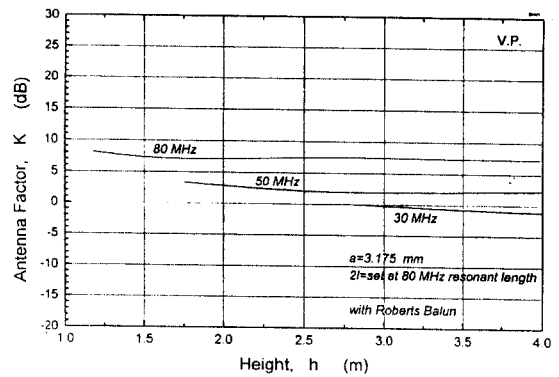
80 MHz이하의 주파수 대역에서는 80 MHz에서 공진하는 안테나 길이로 고정하여 사용하도록 규정하고 있다. 따라서 80 MHz이하에서는 단축 다이폴 안테나가 되는데, 본 절에서는 먼저 접지판 위에 단축 다이폴 안테나가 놓여져 있을 경우에 안테나 인자가 어떻게 변화하는지 검토한다.

80 MHz에서 공진하는 Roberts밸런을 접속한 다이폴 안테나를 접지판 위에 수평으로 배치한 경우(그림 1참조), 안테나 높이를 변화시켰을 때의 안테나 인자의 계산치를 그림 3에 나타낸다. 안테나 높이가 1-4 m 사이에서 변화할 때, 수평편파인 경우(그림 3(a)) 주파수 30 MHz에서 안테나 인자의 변화폭은 5.1 dB정도이며, 수직편파인 경우(그림 3(b))는 2 dB정도로서 수평편파보다 변동폭이 작다는 것을 알 수 있다.

그림 4는 안테나의 높이를 파라미터로 했을 때, 수평 및 수직편파 단축 다이폴 안테나에 대한 안테나 인자의 주파수 특성을 나타낸다. 실제의 EMI측정에



(a)



(b)

그림 3. 안테나 높이에 대한 안테나 인자의 변화.

(a) 수평편파 (b) 수직편파.

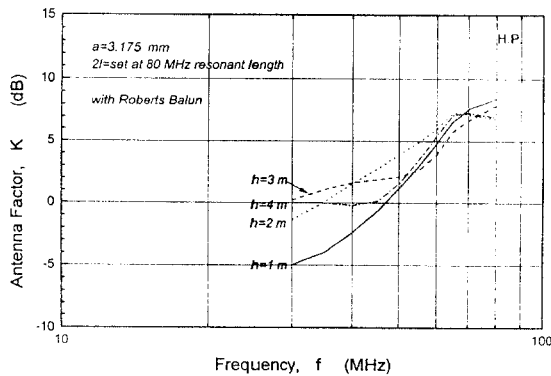
Fig. 3 Antenna factors vs. Height of the antenna.

(a) Horizontal polarization (b) Vertical polarization.

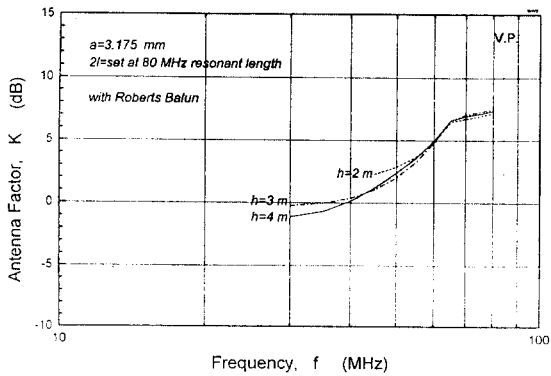
서는 그림 4의 안테나 인자 값을 적용해야 한다. 그림 4로부터 알 수 있는 것처럼 주파수에 대한 안테나 인자의 변화폭은 수평편파가 수직편파보다 1.6배 정도 크다.

#### 2. 반파장 안테나와 반파장 공진 안테나의 안테나 인자 차이

EMC 다이폴 안테나를 사용할 때에는 80 MHz이하의 대역에 대하여 안테나의 길이를 각각의 주파수에서 공진하는 반파장 공진길이에 맞추어 사용해야 하는데, 경우에 따라서는 작업자의 부주의 또는 착오로 인하여 반파장 공진길이에서 벗어나든지 또는 반



(a)



(b)

그림 4. 안테나 인자의 주파수 특성.

(a) 수평편파 (b) 수직편파.

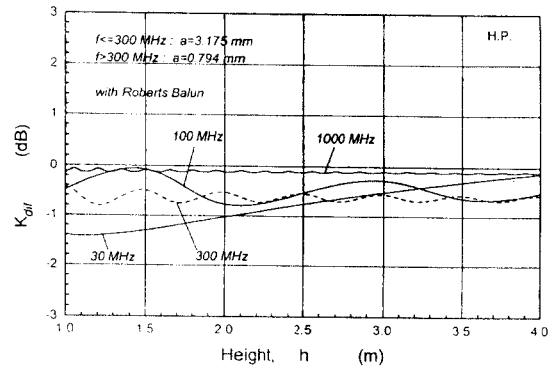
Fig. 4 Frequency characteristics of the antenna factor.

(a) Horizontal polarization (b) Vertical polarization.

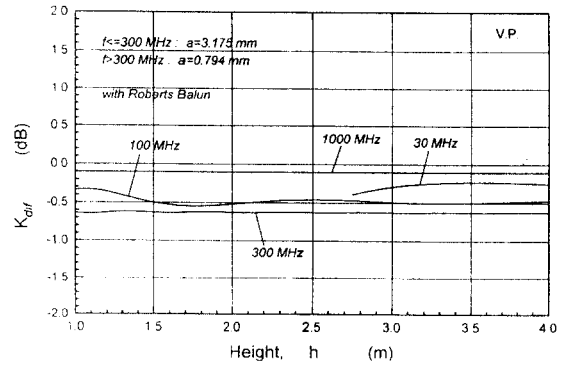
파장 길이에 맞추어 사용할 경우가 있다. 본 절에서는 이러한 부주의 및 착오로부터 발생할 수 있는 안테나 인자의 적용오차를 알아보기 위해 반파장 공진 길이일 때의 안테나 인자와 반파장 길이일 때의 안테나 인자의 차이  $K_{diff}$ 를

$$K_{diff} = K_R(h) - K_H(h) \quad (dB) \quad (11)$$

로 정의하고, 안테나 길이의 부적절한 조정에서 발생할 수 있는 적용오차의 정도를 검토한다. 식(11)에서  $K_R$ 는 반파장 공진 안테나의 안테나 인자이며,  $K_H$ 는 반파장 안테나의 안테나 인자이다.



(a)



(b)

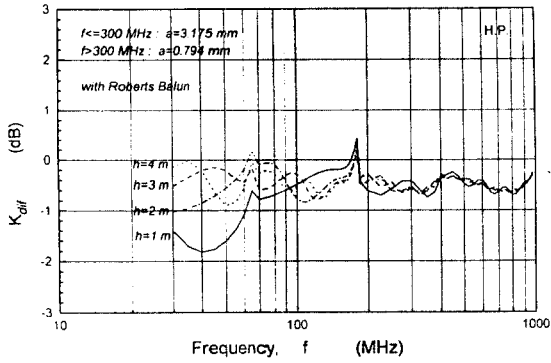
그림 5. 안테나 높이에 대한 안테나 인자의 차이.

(a) 수평편파 (b) 수직편파.

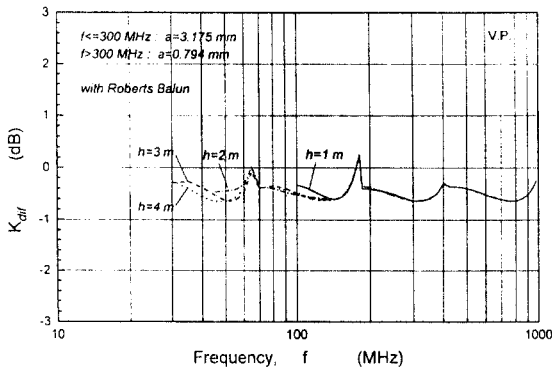
Fig. 5 Difference of antenna factor vs. Height of antenna.

(a) Horizontal polarization (b) Vertical polarization.

그림 5는 주파수를 파라미터로 했을 때, 안테나 높이에 따른  $K_{diff}$ 의 관계를 나타낸다. 안테나 높이가 약 2 m 이상이 되면  $K_{diff}$ 는 1 dB 이내에 들어가며 안테나 높이가 낮을수록 그리고 주파수가 낮을수록 안테나 인자의 차이  $K_{diff}$ 는 커진다는 것을 알 수 있다. 이것은 주파수 및 안테나의 높이가 낮을수록 접지판과의 상호결합이 크기 때문이다. 안테나의 길이를 조정할 때에는 가능한 한 공진 길이에 정확히 맞추려고 노력하기 때문에 안테나 길이가  $\pm 3$  mm 정도를 넘지 않는다고 가정하면 안테나 인자의 차이  $K_{diff}$ 는 무시할 수 있을 정도로 작다는 것을 그림 5로부터 유추할 수 있다. 왜냐하면, 그림 5(a), (b)에서 알 수 있는 것처럼 1000



(a)



(b)

그림 6. 안테나 인자 차이의 주파수 특성.

(a) 수평편파 (b) 수직편파.

Fig. 6 Frequency characteristics of the difference of antenna factor.

(a) Horizontal polarization (b) Vertical polarization.

MHz의 경우, 반파장 길이와 반파장 공진 길이의 차이는 9.1 mm인데 이때의 안테나 인자의 차이  $K_{diff}$ 는 약 0.2 dB 이내이기 때문이다.

그림 6은 안테나 높이를 파라미터로 했을 때, 안테나 인자의 차이  $K_{diff}$ 의 주파수 특성을 나타낸다. 수평편파의 경우(그림 6(a)) 안테나 높이가 1 m이면 60 MHz 이하에서 안테나 인자의 차이가 1 dB 이상이 된다는 것을 알 수 있으며, 안테나 높이가 2 m 이상이면 전 주파수 대역에서 안테나 인자의 차이는  $\pm 1$  dB 이내이다. 수직편파의 경우(그림 6(b))는 1-4 m 범위에서 안테나 인자의 차이가  $\pm 0.6$  dB 이내로서 수평편파에

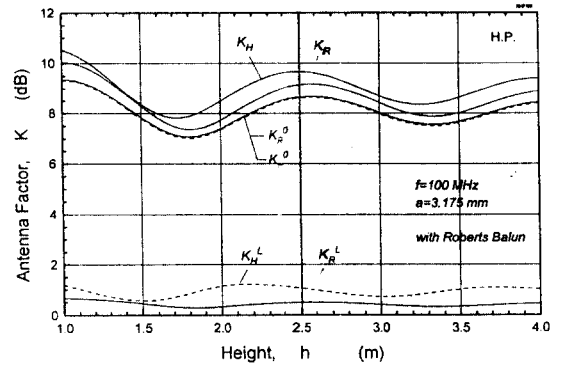


그림 7. 안테나 높이에 대한 안테나 인자.

Fig. 7 Antenna factors vs. Height of the antenna.

비교하여 안테나 인자의 차이가 작다는 것을 알 수 있다. 그림 6으로부터 수평 및 수직편파 모두 안테나 인자의 차이는 약 0.5 dB를 중심으로 변동하고 있으며 낮은 주파수(약 200 MHz 이하)에서는 수평편파가 수직편파보다 변동폭이 현저하게 크다는 것을 알 수 있다.

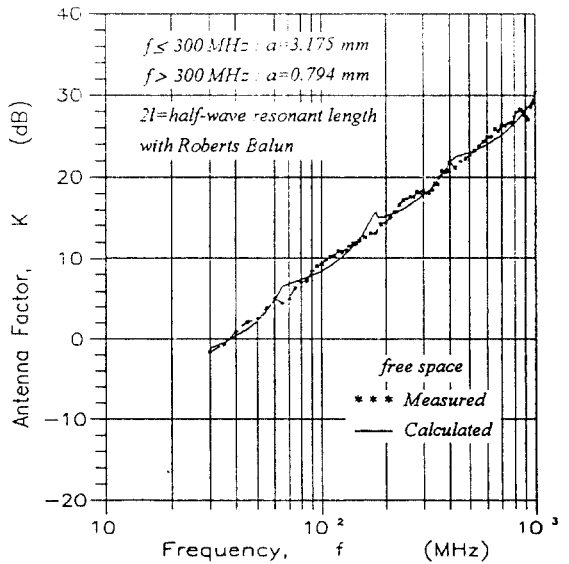


그림 8. 안테나 인자의 주파수 특성, 실험치와의 비교.

Fig. 8 Frequency characteristics of the antenna factor, comparison with experimental results.

그림 7은 일 예로서 주파수가 100 MHz인 경우의 안테나 높이에 대한 안테나 인자의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 것처럼 안테나 높이가 1.4 m 부근에서는  $K_R$ 과  $K_H$ 는 거의 같다는 것을 알 수 있는데 이는 밸런의 삽입으로 인한 것이며, 그림 7에서 표시한 밸런의 삽입에 따른 안테나 인자의 변동분  $K_R'$  및  $K_H'$ 을 비교해 보면 잘 알 수 있다. 그림 7에서  $K_R'$  등의 문자에 있는 윗첨자 L 및 0는 각각 밸런이 있을 경우 및 이상적인 경우를 나타내며, 아랫첨자 R 및 H는 각각 반파장 공진 안테나 및 반파장 안테나를 나타낸다.

본 논문에서 사용한 안테나 인자 이론식의 타당성을 확인하기 위하여, 표준 사이트법에 의한 안테나 인자의 측정치[6]와 계산치를 그림 8에 나타낸다. 그림 8로부터 알 수 있는 것처럼 자유공간 안테나 인자의 주파수 특성에 관한 계산치는 측정치와 경향이 잘 일치하고 있음을 확인할 수 있다.

## VI. 결 론

Roberts밸런을 갖는 반파장 공진 다이폴 안테나를 80 MHz이하의 주파수 대역에서 사용할 경우에는 80 MHz에서 공진하는 안테나 길이로 고정하여 사용하게 된다. 이러한 경우는 80 MHz이하의 대역에서 단축 다이폴 안테나가 되는데, 본 논문에서는 단축 다이폴 안테나가 접지판 위에 놓여질 때의 안테나 인자에 대하여 검토했다. 그리고, 안테나 사용자의 부주의 또는 착오로 인하여 안테나의 길이가 공진길이에서 벗어나서 사용될 경우 또는 반파장 길이로 사용될 경우에 대한 안테나 인자의 변화에 대해서도 검토했다.

검토 결과, 반파장 안테나로 사용할 경우에는 반파장 공진 안테나인 경우와 비교한 안테나 인자의 차이는 수평 및 수직편파 모두 약 0.5 dB를 중심으로 변동하고 있는데, 낮은 주파수 대역에서 안테나의 높이가 낮을 경우에는 반파장 안테나와 반파장 공진 안테나를 명확히 구분하여 사용해야 한다는 것을 알았다. 높은 주파수 대역에서는 양자를 동일하게 사용하더라도 0.5 dB정도의 차이가 있으므로 양자의 차이는 거의 무시할 수 있다. 그리고 안테나의 길이를 공진 길이에서  $\pm 3$  mm정도 벗어나더라도 안테나 인자의 변화는 무시할 수 있을 정도로 작다는 것도 알 수 있었다. 본 논문의 결과는 EMI의 측정에서 안테나의

길이를 부적절하게 조정 함으로서 발생할 수 있는 안테나 인자의 오차를 추정할 때 유용한 자료로 이용할 수 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

1. T. Morikawa, A.Sugiura, K.Harima, T.Teijima, and H.Masuzawa: "Calibration Methods of Antenna Factor of Antennas for EMI Measurement-Problems of ANSI C63.5 and Their Improvement-," Technical Report of IEICE, EMCJ92-85, pp.39-44, Jan. 1993.
2. A. Sugiura, T. Morikawa, T. Teijima, and H. Masuzawa: "EMI Dipole Antenna Factors" IEICE Trans., vol.E78-B, no.2, pp.134-139, Feb. 1995.
3. Ki-Chai Kim and S. Tokumaru: "Antenna Factors of Half-wavelength Dipole Antennas with Roberts Balun," IEICE Trans., vol.J78-B-II, no.11, pp. 717-724, Nov. 1996.
4. ANSI C63.4-1992.
5. W.K.Roberts: "A New Wide-Band Balun," Proc. Of the IRE, vol.45, no.12, pp.1628-1631, Dec. 1957.
6. B.K.Park, J.H.Kim, J.I.Park, C.K.Kang and U.T. Kang: "Development of EMC Antenna Evaluation Techniques," Final Report of Ministry of Science and Technology, KRIS-94-081-IR, Apr. 1994.



**金 基 采(Ki-Chai Kim) 정회원**  
 1984년 2월: 영남대학교 공과대학 전자공학과 졸업 (공학사)  
 1986년 3월: 일본 Keio Univ. 대학원 전기공학과 졸업 (공학석사)  
 1989년 3월: 일본 Keio Univ. 대학원 전기공학과 졸업(공학박사)  
 1989년 4월~1993년 3월: 한국표준과학연구원 전자파 연구실 선임연구원  
 1993년 4월~1995년 8월: 일본 후쿠오카공업대학 정보공학과 조교수  
 1995년 9월~현재: 영남대학교 전기전자공학부 조교수  
 ※주관심분야: 전자파이론 및 안테나, EMC/EMI, 전자파 응용 등.